

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-055182

(43)Date of publication of application : 26.02.1999

(51)Int.Cl.

H04B 10/02

H04B 10/18

H01S 3/10

(21)Application number : 09-211678

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 06.08.1997

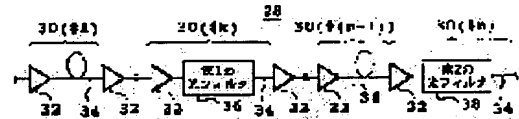
(72)Inventor : TERAHARA TAKAFUMI

## (54) LIGHT AMPLIFICATION METHOD AND SYSTEM FOR EXECUTING THE METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain for light amplification method which performs gain equalization for both signal power deviation and light SNR by performing gain equalization, so that the deviation about the wavelength of a signal-to-noise ratio of amplification signal light and the wavelength of signal power of amplification equalization signal light can be small.

**SOLUTION:** A 1st optical filter 36 is arranged in subsections, except the subsection 30 (#n) on the most downstream side. A 2nd optical filter 38 is arranged in the middle of an optical fiber transmission path 34 in the subsection 30 (#n) on the most downstream side. The filter 36 performs gain equalization of WDM signal light, so that inter-channel deviation of light SNR in the WDM signal light becomes small. The filter 38 performs gain equalization of the WDM signal light, so that inter-channel deviation of signal power in the WDM signal light becomes small. Then, the gain equalization can be easily performed for both the deviations of signal power and the signal-to-noise ratio.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-55182

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

M

10/18

H 0 1 S 3/10

Z

H 0 1 S 3/10

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-211678

(22) 出願日 平成9年(1997) 8月6日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 寺原 隆文

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 松本 昂

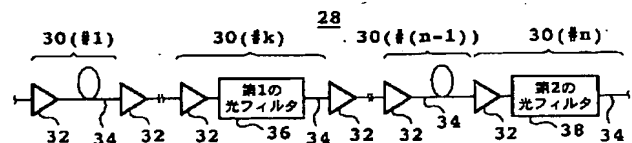
(54) 【発明の名称】 光増幅のための方法及び該方法を実施するためのシステム

(57) 【要約】

【課題】 本発明は波長分割多重 (WDM) に適した光増幅のための方法及びシステムに関し、信号力の偏差及び光 S N R (信号対雑音比) の偏差の両方に関して利得等化を行うようにした方法及びシステムの提供を課題としている。

【解決手段】 カスケード接続された複数の光増幅器 3 2 と、隣り合う2つの光増幅器 3 2 の間に設けられ信号対雑音比の偏差が小さくなるように信号光を利得等化するための第1の光フィルタ 3 6 と、光増幅器 3 2 の下流側に設けられ、信号電力の偏差が小さくなるように信号光を利得等化するための2の光フィルタ 3 8 とから構成する。

各区間28の第1実施形態を示すブロック図



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 (a) 信号光を増幅して増幅信号光を得るステップと、

(b) 該増幅信号光の信号対雑音比の波長に関する偏差が小さくなるように該増幅信号光を利得等化して第 1 の等化信号光を得るステップと、

(c) 該第 1 の等化信号光を増幅して増幅等化信号光を得るステップと、

(d) 該増幅等化信号光の信号電力の波長に関する偏差が小さくなるように該増幅等化信号光を利得等化して第 2 の等化信号光を得るステップとを備えた方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の方法であって、上記信号光は波長が異なる複数チャネルの光キャリアを含む波長分割多重 (WDM) 信号光であり、上記各偏差は上記 WDM 信号光におけるチャネル間偏差である方法。

【請求項 3】 信号光を増幅するカスケード接続された複数の光増幅器と、  
該複数の光増幅器のうちの隣り合う 2 つの光増幅器の間に設けられ上記信号光の信号対雑音比の波長に関する偏差が小さくなるように該信号光を利得等化するための第 1 の光フィルタと、  
上記複数の光増幅器の下流側に設けられ上記信号光の信号電力の波長に関する偏差が小さくなるように該信号光を利得等化するための第 2 の光フィルタとを備えたシステム。

【請求項 4】 請求項 3 に記載のシステムであって、上記信号光は波長が異なる複数チャネルの光キャリアを含む波長分割多重 (WDM) 信号光であり、上記各偏差は上記 WDM 信号光におけるチャネル間偏差であるシステム。

【請求項 5】 請求項 3 に記載のシステムであって、上記第 1 の光フィルタは上記複数の光増幅器を概略 2 分する位置に設けられるシステム。

【請求項 6】 請求項 3 に記載のシステムであって、上記第 2 の光フィルタは上記信号光の帯域を除く帯域の雑音光を遮断する手段を含むシステム。

【請求項 7】 請求項 3 に記載のシステムであって、上記信号光は 1.55  $\mu\text{m}$  帯に含まれる波長を有しており、  
上記各光増幅器はエルビウムドープファイバ増幅器であり、  
上記第 2 の光フィルタは 1.53  $\mu\text{m}$  帯の雑音光を遮断する手段を含むシステム。

【請求項 8】 複数の区間からなる光ファイバスパンと、  
該光ファイバスパンの一端にて信号光を該光ファイバスパンへ供給するための第 1 の端局と、  
該光ファイバスパンの他端にて該光ファイバスパンからの上記信号光を受けるための第 2 の端局とを備え、

上記複数の区間の各々は、

各々上記信号光を増幅するための複数の光増幅器と、  
該複数の光増幅器のうちの隣り合う 2 つの光増幅器の間に設けられ上記信号光の信号対雑音比の波長に関する偏差が小さくなるように該信号光を利得等化するための第 1 の光フィルタと、

上記複数の光増幅器の下流側に設けられ上記信号光の信号電力の波長に関する偏差が小さくなるように該信号光を利得等化するための第 2 の光フィルタとを備えているシステム。

【請求項 9】 請求項 8 に記載のシステムであって、上記信号光は波長が異なる複数チャネルの光キャリアを含む波長分割多重 (WDM) 信号光であり、  
上記各偏差は上記 WDM 信号光におけるチャネル間偏差であるシステム。

【請求項 10】 請求項 9 に記載のシステムであって、上記第 1 の端局は、波長が異なる複数の光信号をそれぞれ出力する複数の光送信機と、該複数の光信号を波長分割多重して上記 WDM 信号光を出力する光マルチプレクサとを含み、

上記第 2 の端局は、上記 WDM 信号光を複数の光信号に分ける光デマルチプレクサと、該複数の光信号をそれぞれ受ける光受信機とを含むシステム。

【請求項 11】 請求項 8 に記載のシステムであって、上記複数の区間のうちの隣り合う 2 つの区間の間に設けられ上記信号光から分岐信号光を得るための光分岐装置と、

その一端が上記光分岐装置に接続される少なくとも 1 つの分岐区間と、

該分岐区間の他端にて該分岐区間からの上記分岐信号光を受けるための第 3 の端局とを更に備えたシステム。

【請求項 12】 請求項 11 に記載のシステムであって、

上記各分岐区間は上記各区間の上記光増幅器並びに上記第 1 及び第 2 の光フィルタにそれぞれ相当するエレメントを含むシステム。

【請求項 13】 請求項 8 に記載のシステムであって、上記複数の区間と上記第 2 の端局との間に設けられる付加区間を更に備え、

該付加区間は上記各区間の上記光増幅器及び上記第 1 の光フィルタにそれぞれ相当するエレメントを含むシステム。

【請求項 14】 請求項 13 に記載のシステムであって、  
上記第 2 の端局は上記第 2 の光フィルタに相当するエレメントを含むシステム。

【請求項 15】 請求項 8 に記載のシステムであって、上記第 1 及び第 2 の光フィルタの各々の下流側に設けられ上記信号光に減衰を与える光アッテネータを更に備え、それにより上記複数の光増幅器の入力レベルが概略

同じになるシステム。

【請求項16】 請求項15に記載のシステムであって、

上記光アッテネータは光ファイバからなり、該光ファイバの長さにより上記減衰が調節されるシステム。

【請求項17】 請求項8に記載のシステムであって、上記各第1の光フィルタは当該区間の上記複数の光増幅器を概略2分する位置に設けられるシステム。

【請求項18】 請求項8に記載のシステムであって、上記各第2の光フィルタは上記信号光の帯域を除く帯域の雑音光を遮断する手段を含むシステム。

【請求項19】 請求項8に記載のシステムであって、上記信号光は1.55  $\mu\text{m}$ 帯に含まれる波長を有しており、

上記各光増幅器はエルビウムドープファイバ増幅器であり、

上記各第2の光フィルタは1.53  $\mu\text{m}$ 帯の雑音光を遮断する手段を含むシステム。

【請求項20】 光分岐／挿入装置により接続された複数の光ファイバスパンを備え、

該各光ファイバスパンは少なくとも1つの区間からなり、

該少なくとも1つの区間の各々は、

各々上記信号光を増幅するための複数の光増幅器と、該複数の光増幅器のうちの隣り合う2つの光増幅器の間に設けられ上記信号光の信号対雑音比の波長に関する偏差が小さくなるように該信号光を利得等化するための第1の光フィルタと、

上記複数の光増幅器の下流側に設けられ上記信号光の信号電力の波長に関する偏差が小さくなるように該信号光を利得等化するための第2の光フィルタとを備えているシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、一般的に波長が異なる複数チャネルの光キャリアを含む波長分割多重信号光を用いた光ファイバ通信に適した光増幅に関し、更に詳しくは、そのような光増幅のための方法及び該方法を実施するために使用するシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、低損失（例えば0.2 dB/km）な光ファイバの製造技術及び使用技術が確立され、光ファイバを伝送路とする光通信システムが実用化されている。また、光ファイバにおける損失を補償して長距離の伝送を可能にするために、信号光を増幅するための光増幅器の使用が提案され或いは実用化されている。

【0003】 従来知られている光増幅器は、増幅されるべき信号光が供給される光増幅媒体と、光増幅媒体が信号光の波長を含む利得帯域を提供するように光増幅媒体をポンピング（励起）する手段とを備えている。例え

ば、エルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）は、光増幅媒体としてのエルビウムドープファイバ（EDF）と、予め定められた波長を有するポンプ光をEDFに供給するためのポンプ光源とを備えている。0.98  $\mu\text{m}$ 帯或いは1.48  $\mu\text{m}$ 帯の波長を有するポンプ光を用いることによって、波長1.55  $\mu\text{m}$ 帯を含む利得帯域が得られる。また、半導体チップを光増幅媒体として用いる光増幅器も知られている。この場合、半導体チップに電流を注入することによってポンピングが行われる。

【0004】 一方、光ファイバによる伝送容量を増大させるための技術として、波長分割多重（WDM）がある。WDMが適用されるシステムにおいては、異なる波長を有する複数の光キャリアが用いられる。各光キャリアを独立に変調することによって得られた複数の光信号が光マルチプレクサにより波長分割多重され、その結果得られたWDM信号光が光ファイバ伝送路に送出される。受信側では、受けたWDM信号光が光デマルチプレクサによって個々の光信号に分離され、各光信号に基づいて伝送データが再生される。従って、WDMを適用することによって、当該多重数に応じて一本の光ファイバにおける伝送容量を増大させることができる。

【0005】 WDMが適用されるシステムに光増幅器を組み入れる場合、利得傾斜（ゲインチルト）或いは利得偏差で代表される利得の波長依存性によって伝送距離が制限される。例えば、EDFAにおいては、波長1.55  $\mu\text{m}$ の近傍で利得傾斜が生じ、この利得傾斜はEDFAへの信号光のトータル入力パワー及びポンプ光のパワーに従って変化することが知られている。

【0006】 光増幅器の利得の波長依存性に対する対策として、利得等化法が知られている。これを図1乃至図3により説明する。図1は、WDMが適用される従来の光通信システムの例を示すブロック図である。複数の光送信機（OS）2（#1, ..., #N）から出力された波長が異なる光信号は、光マルチプレクサ4において波長分割多重される。波長分割多重の結果得られたWDM信号光は光伝送路6に送出される。

【0007】 光伝送路6は、光ファイバ伝送路7の途中に損失補償用の複数の光増幅器8と1つ以上の利得等化器10を設けて構成されている。各利得等化器10は光フィルタによって提供され得る。

【0008】 光伝送路6により送られてきたWDM信号光は、光デマルチプレクサ12によって波長に従って個々の光信号に分離され、光受信機（OR）14（#1, ..., #N）に供給される。

【0009】 図2を参照すると、図1のシステムにおいて光マルチプレクサ4から光伝送路6に送出されるWDM信号光のスペクトルの例が示されている。縦軸は光パワー、横軸は波長を表している。ここでは、光送信機2（#1, ..., #N）はそれぞれ波長（ $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ ）

の光信号を出力するものとしている。プリエンファシスを考慮しなければ、一般的には、各チャネルの光信号の光パワーは等しい。この例では、WDM信号光の帯域は、符号16で示されるように、 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の波長範囲によって定義される。

【0010】図1のシステムにおいて、各光増幅器8がWDM信号光の帯域16において利得の波長依存性を有していると、その利得の波長依存性が光伝送路6の全長に渡って累積し、信号電力或いは信号対雑音比(光SNR)のチャネル間偏差が生じてしまう。

【0011】利得等化法では、各利得等化器10の特性を、累積した光増幅器8の利得の波長依存性が相殺されるように設定する。これを図3により具体的に説明する。図3において、符号18で示される破線は、累積した光増幅器8の利得の波長依存性であり、符号20で示される実線は、利得等化器10における損失の波長依存性を示している。図示された例では、WDM信号光の帯域16において、利得の波長依存性が損失の波長依存性によって相殺されており、これにより光伝送路6の全体における利得等化がなされている。

【0012】各光増幅器8としてEDFAが用いられる場合、その利得の波長依存性は、一般的には、波長軸に対して非対称形である。これに対して、各利得等化器10の構成要素(エレメント)として用いられ得る1つの光フィルタの損失の波長依存性は対称形である。従って、各利得等化器10が1つの光フィルタだけを含む場合には、累積した光増幅器8の非対称な利得の波長依存性を補償することは不可能である。光フィルタとしては、誘電体多層膜フィルタ、エタロンフィルタ及びマツハツェンダフィルタ等が知られており、これらは精度よく作製することができ且信頼性が保証されている。

【0013】尚、関連する従来技術として、光増幅器の非対称な利得の波長依存性を補償するために、損失の波長依存性が異なる2つ以上の光フィルタを組み合わせる利得等化器を構成することが提案されている。これにより、与えられたWDM信号光の帯域において利得の波長依存性が高精度に損失の波長依存性によって相殺される。

【0014】利得等化法の付加的な詳細については、下記の文献〔1〕を、また、複数光フィルタの組み合わせについては文献〔2〕、〔3〕及び〔4〕を参照されたい。

〔1〕 N. S. Bergano et al., "Wavelength division multiplexing in long-haul transmission system", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 14, NO. 6, JUNE 1996, pp1229-1308

〔2〕 K. Oda et al., "128channel, 480km FSK-DD transmission experiment using 0.98 $\mu$ m pumped erbium doped fibre amplifiers and a tunable gain equalizer", ELECTRONICS LETTERS, 9th June 1994, Vol. 30,

No. 12, pp982-983

〔3〕 T. Naito et al., "85-Gb/s WDM transmission experiment over 7931km using gain equalization to compensate for asymmetry in EDFA gain characteristics", First Optoelectronics and Communications Conference(OECC'96) Technical Digest, July 1996, P D1-2

〔4〕 T. Oguma et al., "Optical gain equalizer for optical fiber amplifier", 1996年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-1093(pp578)

【0015】

【発明が解決しようとする課題】図4の(A)及び(B)を参照すると、従来の利得等化法を適用したシステムにおける伝送後の光スペクトルの例が示されている。いずれの例においても、比較的なだらかな雑音スペクトルに複数の急峻な信号スペクトルが重畳されている。

【0016】図4の(A)に示される例では、利得等化を行うことによって、信号電力の偏差が抑圧されている。即ち、信号スペクトルの光パワーピーク値が一致するように利得等化が行われている。この場合、雑音スペクトルを基準とした信号スペクトルの長さで与えられる信号対雑音比、即ち光SNRはチャネル毎に異なる値になり、光SNRには偏差が残る。例えば、陸上向けのシステムでは、光SNRの偏差を許容して、信号電力偏差がなくなるように利得の等化が行われる。

【0017】これとは逆に、図4の(B)に示されるように、信号電力の偏差を許容して光SNRの偏差が抑圧されるように利得等化を行うことも可能である。いずれにしても、従来の利得等化法では、信号電力及び光SNRのいずれか一方にのみ着目し、それについて利得等化が行われていた。

【0018】そのため、従来の利得等化法では、信号電力及び光SNRのいずれか他方に偏差が残る、問題が生じることがあった。例えば、図4の(B)に示されるように、光SNRの偏差に関して利得等化を行う場合には、信号電力に偏差が残るため、受信端局において信号レベルダイアグラムが異なることがシステム構築上問題となる。また、図4の(A)に示されるように、信号電力の偏差に関して利得等化を行う場合には、光SNRに偏差が残るため、チャネル間で伝送品質がバラツクという問題が生じる。

【0019】よって、本発明の目的は、信号電力の偏差及び光SNRの両方に関して利得等化を行うようにした光増幅のための方法を提供することにある。本発明の他の目的は、そのような方法を実施するために使用されるシステムを提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の側面によると、(a) 信号光を増幅して増幅信号光を得るステッ

プと、(b)該増幅信号光の信号対雑音比の波長に関する偏差が小さくなるように該増幅信号光を利得等化して第1の等化信号光を得るステップと、(c)該第1の等化信号光を増幅して増幅等化信号光を得るステップと、(d)該増幅等化信号光の信号電力の波長に関する偏差が小さくなるように該増幅等化信号光を利得等化して第2の等化信号光を得るステップとを備えた方法方法が提供される。

【0021】この方法は、光増幅を複数回行う場合に、その途中で信号対雑音比の波長に関する偏差が小さくなるように利得等化し、且つ、最後に信号電力の波長に関する偏差が小さくなるように利得等化を行うようにしている点で特徴付けられる。即ち、利得等化が少なくとも2回行われるのである。この方法によると、後で詳細に説明する原理に従って、信号電力の偏差及び信号対雑音比の偏差の両方に関して容易に利得等化を行うことができるようになる。

【0022】本発明の第2の側面によると、本発明による方法を実施するためのシステムが提供される。このシステムは、信号光を増幅するカスケード接続された複数の光増幅器を備えている。複数の光増幅器のうちの隣り合う2つの光増幅器の間には、第1の光フィルタが設けられる。第1の光フィルタは、信号光の信号対雑音比の波長に関する偏差が小さくなるように信号光を利得等化する。複数の光増幅器の下流側には、第2の光フィルタが設けられる。第2の光フィルタは、信号光の信号電力の波長に関する偏差が小さくなるように信号光を利得等化する。

【0023】本発明の第3の側面によると、複数の区間からなる光ファイバスパンと、光ファイバスパンの一端にて信号光を光ファイバスパンへ供給するための第1の端局と、光ファイバスパンの他端にて光ファイバスパンからの信号光を受けるための第2の端局とを備えたシステムが提供される。複数の区間の各々は、本発明の第2の側面によるシステムを備えている。

【0024】本発明の第4の側面によると、光分岐／挿入装置により接続された複数の光ファイバスパンを備えたシステムが提供される。各光ファイバスパンは少なくとも1つの区間からなる。この少なくとも1つの区間の各々は、本発明の第2の側面によるシステムを備えている。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。図5は本発明による光通信システムの第1実施形態を示すブロック図である。このシステムは、送信用の第1の端局22と、受信用の第2の端局24と、端局22及び24間に敷設される光ファイバ

$$G, i = \alpha, i G_0, \Gamma, i = \beta, i \Gamma_0 \dots (1)$$

ここで、 $G_0$ 及び $\Gamma_0$ は、それぞれ、光増幅器32の平均利得及びサブ区間の平均損失を表す。通常、損失及び

パン26とを備えている。

【0026】光ファイバスパン26はカスケード接続された複数の区間28からなる。第1の端局22は、異なる波長の光信号を出力する複数の光送信機2(#1, ..., #N)と、これらの光信号を波長分割多重してWDM信号光を得るための光マルチプレクサ4とを備えている。WDM信号光は光ファイバスパン26へ供給される。

【0027】第2の端局24は、光ファイバスパン26からのWDM信号光を波長に従って分離して個々のチャネルの光信号を得るための光デマルチプレクサ12と、これらの光信号を受けるための複数の光受信機14(#1, ..., #N)とを備えている。

【0028】図6は、各区間28の第1実施形態を示すブロック図である。各区間28は、カスケード接続された複数のサブ区間30(#1, ..., #n)からなる。サブ区間30(#1, ..., #n)の各々は、光増幅器32と、その下流側に設けられる光ファイバ伝送路34からなる。

【0029】この実施形態では、サブ区間30(#k)の光ファイバ伝送路34の途中に第1の光フィルタ36が設けられている。サブ区間の数がnであるときに、kは $1 \leq k < n$ を満たす。即ち、第1の光フィルタ36は最下流側のサブ区間30(#n)以外のサブ区間に設けられる。

【0030】最下流側のサブ区間30(#n)の光ファイバ伝送路34の途中には第2の光フィルタ38が設けられる。第1の光フィルタ36は、WDM信号光における光SNRのチャネル間偏差が小さくなるようにWDM信号光を利得等化する。

【0031】第2の光フィルタ38は、WDM信号光における信号電力のチャネル間偏差が小さくなるようにWDM信号光を利得等化する。ここでは、第1の光フィルタ36は1つだけ図示されているが、複数のサブ区間に第1の光フィルタ36をそれぞれ設けてもよい。

【0032】図7は、図6の第1実施形態の技術的效果を説明するための比較例を示すブロック図である。図6及び図7を参照して、従来の方法では光SNRの偏差と信号電力の偏差とを同時に利得等化することができない理由と、この問題が本発明により解決可能であることを説明する。

【0033】まず、図7に示されるように、サブ区間30(#k)の光ファイバ34に利得等化器としての1台の光フィルタOFが配置されている場合を想定する。 $i$ ( $1 \leq i \leq N$ )チャネルに対する光増幅器利得 $G_i$ 及び等化器の損失 $\Gamma_i$ を次の式で表現する。

$$G_i = \alpha, \Gamma_i = \beta \dots (1)$$

利得がバランスするよう設計されるため、 $G_0 \Gamma_0 = 1$ である。 $\alpha$ 、 $i$ 及び $\beta$ 、 $i$ は、それぞれ、 $i$ チャネル

における光増幅器32の利得偏差及び光フィルタOFの損失偏差を表す。

【0035】図示されるように、サブ区間の数が $n$ であり、 $k$ 番目のサブ区間30 (# $k$ )に光フィルタOFを

$$P_{out,i} = (\alpha, i \cdot \beta, i) P_{in,i} \quad \dots (2)$$

$$P_{ase,i} = \beta, i \alpha, i^{n-k} (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i + (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i \quad \dots (3)$$

ここで、光増幅器32の1台が出す雑音光パワー $P_n$ は次式で与えられるものとした。

$$P_n = 2h\nu B N_{sp,i} G, i \quad \dots (4)$$

但し、(4)式において、 $h\nu$ は光子エネルギー、 $B$ は測定帯域幅、 $N_{sp,i}$ は $i$ チャネルにおける反転分布パラメータである。従って、出力における光SNR

$$\begin{aligned} OSNR_i &= P_{out,i} / P_{ase,i} \\ &= P_{in,i} (\alpha, i \cdot \beta, i) / \\ &[\beta, i \alpha, i^{n-k} (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i + (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i] \quad \dots (5) \end{aligned}$$

今、各チャネルの入力信号光パワーを等しくした場合を考える(即ち、 $P_{in,i}$ が定数)。(2)式により、信号電力のチャネル間偏差をなくすための条件が得られる。利得偏差 $\alpha, i$ は使用する光増幅器によって決まる値である。従って、 $P_{out,i}$ を $i$ チャネルに対して一定に保つには、利得偏差 $\alpha, i$ に応じて光フィルタ損失偏差 $\beta, i$ の値を調整すればよいことがわかる。一方、光SNRのチャネル間偏差をなくすための条件は(5)式で表される。 $h\nu$ 及び $B$ は定数である。また、利得偏差 $\alpha, i$ と同様に、反転分布パラメータ $N_{sp,i}$ は信号光波長によって異なり、その値は使用する光増幅器によって決まる値である。

【0039】 $OSNR_i$ を $i$ チャネルに対して一定に保つには、利得偏差 $\alpha, i$ 及び反転分布パラメータに応じて損失偏差 $\beta, i$ の値を調整すればよいことがわかる。

(2)式及び(5)式による条件を同時に満足する $\beta, i$ は存在しないため、光フィルタOFを1台だけ用いた場合には、光SNRの偏差と信号電力の偏差とを同時になくことはできない。

【0040】これに対して、図6の第1実施形態では、第1の光フィルタ36により光SNR偏差をなくした後に、第2の光フィルタ38により信号電力偏差をなくしている。光フィルタ36及び38の各々は受働部品であり、光に対して損失を与えるだけである。雑音光に対しても信号光に対しても、同一波長における損失量は同じであるため、光SNRは光フィルタの前後で変わらない。従って、第1の光フィルタ36により一旦光SNRの偏差をなくしておけば、第2の光フィルタ38の出力では、光SNRの偏差がない状態が維持されると共に、第2の光フィルタ38により信号電力の偏差もなくなる。

【0041】ここで、第1の光フィルタ36と第2の光フィルタ38の役割を逆にした場合を考える。即ち、第1の光フィルタ36によって信号電力偏差を抑圧する場合である。この場合には、第2の光フィルタ38の入力

配置し、パワー $P_{in,i}$ の信号光を出力したとすると、出力における信号光パワー $P_{out,i}$ 及び雑音光パワー $P_{ase,i}$ は次に示すようになる。

【0036】

$$P_{out,i} = (\alpha, i \cdot \beta, i) P_{in,i} \quad \dots (2)$$

$$P_{ase,i} = \beta, i \alpha, i^{n-k} (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i + (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i \quad \dots (3)$$

【0037】

$$P_n = 2h\nu B N_{sp,i} G, i \quad \dots (4)$$

を $OSNR_i$ とすると、 $OSNR_i$ は次式で与えられることとなる。

【0038】

$$\begin{aligned} OSNR_i &= P_{out,i} / P_{ase,i} \\ &= P_{in,i} (\alpha, i \cdot \beta, i) / \\ &[\beta, i \alpha, i^{n-k} (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i + (2h\nu B) N_{sp,i} \sum \alpha, i] \quad \dots (5) \end{aligned}$$

において光SNR偏差が残る。

【0042】光フィルタの前後では光SNRは変化しないので、フィルタ36及び38を入れ替えた場合には、光SNR偏差と信号電力偏差の同時利得等化は不可能であることがわかる。

【0043】更に、第2の光フィルタ38が最下流のサブ区間30 (# $n$ )以外のサブ区間に配置されている場合を想定する。この場合、フィルタ36及び38の損失の波長依存性を同時に変更しながら光SNR偏差と信号電力偏差とが共になくなるような解を見出すことが必要となり、光フィルタの設計が困難になる。

【0044】このような理由から、図6に示されるように、信号電力偏差を抑圧するための第2の光フィルタ38を最下流のサブ区間30 (# $n$ )に設けることは、フィルタ36及び38の各々の設計を容易にする上で極めて有効である。

【0045】以上の通り、各区間28を図6のように構成することによって、各区間28において信号電力偏差及び光SNR偏差の両方を抑圧することができ、且つ、光フィルタ36及び38の設計が容易になる。

【0046】尚、以上の説明は、端局22(図5参照)においてプリアンファシスを行っていない場合、即ち各チャネルの信号電力が等しい場合についてのものである。一般に、1台の光フィルタのみによって光SNR偏差を抑圧することができるサブ区間は数区間から10数区間である。従って、図6に示される実施形態において、第1の光フィルタ36が1台である場合には、そのようなサブ区間数に設定するのが望ましい。

【0047】図5のシステムにおいては、各区間28について光SNR偏差及び信号電力偏差が抑圧されているので、第1の端局22がプリアンファシスのないWDM信号光を出力した場合、第2の端局24では、光SNR偏差及び信号電力偏差の小さな状態でWDM信号光を受けることができるので、本発明の目的が達成される。

【0048】また、上述したような利得等化に関する区



間 28 毎の設定は、システムの管理を容易にする。即ち、光増幅器 32 の数が 200 にも及ぶ大規模システムにおいては、各区分 28 を 1 つの単位として管理することができるので、システムの設計及び構築が容易になる。

【0049】図 8 は本発明による光通信システムの第 2 実施形態を示すブロック図である。このシステムは、図 5 の実施形態と対比して、隣り合う 2 つの区分 28 の間に光分岐装置 40 が設けられている点で特徴付けられる。

【0050】光分岐装置 40 は、光ファイバスパン 26 における WDM 信号光を分岐信号光として取り出すためのものである。分岐信号光は分岐スパン 42 によって第 2 の端局 24 と同じように構成される第 3 の端局 24' へ送られる。分岐スパン 42 はカスケード接続された複数の分岐区分 44 からなる。分岐区分 44 は 1 つでもよい。分岐区分 44 は、光ファイバスパン 26 の各区分 28 と同じように構成することができる。

【0051】図 8 のシステムにおいては、各区分 28 及び各分岐区分 44 毎に光 SNR 偏差及び信号電力偏差が抑圧されているので、分岐を行うことによる光 SNR 及び信号電力の変化を考慮する必要がない。従って、システムの設計及び構築が容易である。

【0052】図 1 の従来のシステムでは、光分岐装置を追加しようとする場合、その位置に既に利得等化器 10 があると、全ての利得等化器の挿入位置及び損失の波長依存性を見直す必要があるが、図 8 の実施形態では、各区分 28 及び各分岐区分 44 毎に利得等化法の適用を容易に管理することができるので、光分岐装置 40 の前後の区分についてだけ見直しを行えばよい。

【0053】尚、図 8 のシステムに双方向伝送が適用されている場合には、光分岐装置 40 に代えて光分岐／挿入装置（光アッド／ドロップ回路）を設ければよい。図 9 は本発明による光通信システムの第 3 実施形態を示すブロック図である。このシステムは、図 5 の実施形態と対比して、最下流の区分 28 と第 2 の端局 24 との間に付加区分 46 を設けている点で特徴付けられる。

【0054】付加区分 46 は、図 6 に示される区分 28 において第 2 の光フィルタ 38 を省略した構成を有している。区分 28 毎に利得等化が適切に行われていれば、付加区分 46 においては、信号電力偏差はもはや許容できる程度に小さいものとなる。従って、第 2 の端局 24 に最も近い位置にある付加区分 46 においては、信号電力偏差を抑圧するための第 2 の光フィルタ 38 を省略することができるのである。

【0055】尚、付加区分 46 において信号電力偏差を許容することができない場合には、第 2 の光フィルタ 38 に相当する光フィルタを第 2 の端局 24 内に配置してもよい。

【0056】図 10 は各区分 28 の第 2 実施形態を示す

ブロック図である。図 6 の第 1 実施形態と対比して、第 1 の光フィルタ 36 の下流側に光アッテネータ 48 が設けられており、また、第 2 の光フィルタ 38 の下流側に光アッテネータ 50 が設けられている。それにより、光増幅器 32 の入力レベルが概略同じになる。

【0057】具体的には、光アッテネータ 50 を設けているのは、当該区分 28 の出力信号光電力レベルと次段の区分 28 の入力信号光電力レベルを一致させるためである。また、光アッテネータ 48 を設けているのは、第 1 の光フィルタ 36 が挿入されているサブ区分 30 (#k) のレベル調整を行うためである。

【0058】このような光アッテネータ 48 又は 50 の適切な調整によって、区分 28 を多段接続した場合においても、各区分 28 を接続前と同じように動作させることができる。

【0059】図 11 は各区分 28 の第 3 実施形態を示すブロック図である。ここでは、図 10 の光アッテネータ 48 及び 50 に代えて、それぞれ光アッテネータとして機能する光ファイバ 48' 及び 50' が設けられている。この場合、光ファイバ 48' 及び 50' の各々の長さにより減衰を調節することができる。

【0060】この実施形態では、図 10 のように固定点に光アッテネータ 48 及び 50 を設ける場合と比較して、光ファイバ 48' 及び 50' の分だけ各区分 28 を長くすることができる。

【0061】図 6 の各区分 28 の第 1 実施形態においては、第 1 の光フィルタ 36 はサブ区分 30 (#1, ..., # (n-1)) のいずれに設けられていてもよいし、複数の区分にそれぞれ設けられていてもよいとしたが、望ましくは、1 台の第 1 の光フィルタ 36 が区分 28 の概略中央に設けられているのがよい。具体的には、第 1 の光フィルタ 36 は光増幅器 32 を概略 2 分する位置に設けられるのがよい。

【0062】1 台の第 1 の光フィルタ 36 を用いるのがよい第 1 の理由は、光フィルタには光ファイバと光結合することによる結合損があるので、複数の光フィルタを分けて配置すると、利得等化器全体の損失が増加することにある。1 台の第 1 の光フィルタ 36 を用いる第 2 の理由は、光フィルタの数が少ない方がシステムの構築が容易になる点にある。

【0063】次に、第 1 の光フィルタを区分 28 の概略中央に置くのがよい理由を詳細に説明する。図 6 の構成において、第 1 の光フィルタがもしないとした場合、サブ区分 30 (#n) の光増幅器 32 までの信号光電力のレベルダイアグラムは図 12 の (A) に示されるようになる。ここでは、 $n=6$ 、各光増幅器 32 の利得偏差  $\alpha(\lambda)$  は  $\pm 1$  dB 以内とした。

【0064】利得が平均利得  $G_0$  よりも小さくなる波長（即ち  $\alpha(\lambda) < 0$  となる波長）の光信号は、平均利得と同じ利得が得られる波長（即ち  $\alpha(\lambda) = 0$  となる波

長)の光信号に比べて大きく減衰する。このとき、ASE(増幅された自然放光;雑音光)の累積に対して信号電力の減衰が大きいため、光SNRは、利得偏差 $\alpha(\lambda)=0$ となる波長の光信号に比べて小さくなる。これとは逆に、利得偏差 $\alpha(\lambda)>0$ となる波長では、信号電力と光SNRが $\alpha(\lambda)=0$ となる波長の光信号に比べて大きくなる。この結果、チャンネル間に信号電力の偏差及び光SNRの偏差が生じる。

【0065】このような信号電力偏差及び光SNR偏差を抑圧するのが利得等化である。今、信号電力を利得等

$$\Gamma(\lambda)=\Gamma_0+\alpha(\lambda)\times n, \Gamma_0: \text{平均区間損失}, \Gamma_0(\text{dB})=-1\times G_0(\text{dB}) \cdots (6)$$

図12の(B)に、光フィルタを区間28の概略中央に配置した場合( $n=6$ に対して $k=3$ の例)のレベルダイアグラムを示す。最下流における光増幅器32の出力において、各チャンネルの信号電力は等しくなる。

【0067】また、この例では、全区間に渡る信号光出力電力の平均が各波長の利得偏差によらず一定となるため、光SNRの偏差はある程度抑圧される。図12の(C)に、最上流のサブ区間30(#1)に光フィルタを配置した場合( $n=6$ に対して $k=1$ の例)のレベルダイアグラムを示す。図12の(B)の例と同様、最下流の光増幅器32の出力において、信号電力偏差は抑圧される。しかしながら、この例では、全区間に渡る信号光出力電力の平均が各波長の利得偏差によって異なるため、光SNRの偏差は図12の(B)の例よりも大きくなることになる。

【0068】従って、等化器の挿入位置を区間28の概

$$\Gamma(\lambda)=\Gamma_0+\alpha(\lambda)\times n\times r(\lambda) \cdots (7)$$

ここで $r(\lambda)$ は、信号電力等化用の光フィルタと光SNR等化用の光フィルタの損失差を表す係数である。信号電力について等化したときの $r(\lambda)$ の値は1である。

【0071】もし、信号電力について等化した後に残る光SNR偏差が大きければ、光SNRについて等化するときに、 $r(\lambda)$ の値を1から大きくずらす必要がある。これは、光SNRについて等化した後の信号電力偏差を大きくすることを意味する。

【0072】従って、「光SNRについて等化したときに $r(\lambda)$ が1からずれないような等化器挿入間隔」が「光SNR偏差について等化したときに、信号電力偏差が最も小さくなる等化器挿入区間」であり、これは、「信号電力について等化したときに、光SNR偏差が最も小さくなる等化器挿入区間」に等しいことがわかる。以上の考察から、光SNRについて等化を行った場合、信号電力偏差が最も小さくなるのは、光フィルタを区間28の概略中央に配置した場合である。

【0073】図6に示されるような各区間28において、第1の光フィルタ36の挿入位置を区間28の概略中央とすることにより、第2の光フィルタ38における信号電力偏差が最小化されているので、その結果、第2

化するために、光フィルタ(等化器)をサブ区間30(#k)に挿入した場合を想定する。信号電力偏差を等化するために、光フィルタの損失の波長依存性とn個の光増幅器32の利得の波長依存性とが相殺されるようにする。更に、光フィルタが挿入された区間30(#k)では、光フィルタの平均損失に相当する分だけ光ファイバを短縮すると仮定した。このような仮定により、光フィルタが挿入されたサブ区間30(#k)の損失 $\Gamma(\lambda)$ は、次式で与えられる。

【0066】

略中央とした場合に、光SNRの偏差を最小にすることができる。また、各区間における光増幅器32の出力電力のチャンネル間偏差が等化器を概略中央に配置したときに最小になる、という点もこのような等化器配置の長所である。

【0069】以上の説明では、信号光電力が等しくなるように光フィルタを設計して、光SNRの偏差を最小にするように等化器の挿入位置を決めた。これとは逆に、あるサブ区間に光フィルタを配置し、光SNRが等しくなるように光フィルタの損失の波長依存性を決定する場合(即ち本発明による場合)について考える。光SNRの偏差を抑圧するため、光フィルタの損失の波長依存性を(6)式の状態から変化させる場合、光フィルタが挿入されるサブ区間の損失 $\Gamma(\lambda)$ は次式で与えられる。

【0070】

の光フィルタ38の損失は小さくて済むことがわかる。また、このような理由から、図9により説明したように、第2の光フィルタ38が省略された付加区間46を追加することができるのである。

【0074】ところで、図5のシステムにおいては、区間28への入力信号電力が等しく信号電力偏差がない場合においても、信号光帯域外の光スペクトルによって、各区間28に含まれる光増幅器32の動作が変化する場合がある。

【0075】例えば、図13の(A)及び(B)に示されるように2つの入力光スペクトルに違いがある場合を想定する。いずれのスペクトルにおいても、信号電力は等しく、信号電力偏差はない。しかしながら、図13の(A)に示されるスペクトルでは雑音光がないのに対比して、図13の(B)に示されるスペクトルでは、信号光帯域外に大きな雑音光スペクトルが見られる。

【0076】光増幅器の利得偏差及び反転分布パラメータは全入力電力が同じだとしても入力光スペクトルによって異なるため、このようなスペクトルの違いによって、各区間28の光増幅器32の動作が変化するような状況が生じる。この問題を避けるためには、各第2の光フィルタ38が信号光の帯域を除く帯域の雑音光を遮断

する手段を含むようにすればよい。具体的には次の通りである。

【0077】光増幅器としてEDFAを用いた場合、図14に示されるように、信号光の帯域は一般的に1.55 $\mu$ m帯(1.54~1.58 $\mu$ m)に設定される。複数のEDFAをカスケード接続した場合における光スペクトルにおいては、各区分28の動作状態を変化させる要因となるASEのピークが1.53 $\mu$ m帯(1.52~1.54 $\mu$ m)において観測される。

【0078】また、信号光の帯域では、図示された例では、右上がりの利得傾斜が生じている。従って、第2の光フィルタ38の特性としては、破線で示されるに、利得傾斜を相殺して信号電力偏差を抑圧するようなものに設定される。また、信号光の帯域を除く帯域の雑音光、特に1.53 $\mu$ m帯のASEを遮断するような特性が第2の光フィルタ38に与えられる。これにより、各区分28の動作が一律になり、システムの設計及び構築が容易になる。

【0079】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、信号電力の偏差及び光SNR(信号対雑音比)の偏差の両方に関して利得等化を行うようにした光増幅のための方法及び該方法を実施するためのシステムの提供が可能になるという効果が生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】WDMが適用される光通信システムの例を示すブロック図である。

【図2】図1のシステムにおけるWDM信号光のスペクトルの例を示す図(従来技術)である。

【図3】利得等化法の説明図(従来技術)である。

【図4】利得等化により信号電力の偏差(A)及び光SNRの偏差(B)が抑圧される様子を示す図である。

【図5】本発明による光通信システムの第1実施形態を示すブロック図である。

【図6】各区分28の第1実施形態を示すブロック図である。

【図7】図6の第1実施形態の効果を説明するための比較例を示すブロック図である。

【図8】本発明による光通信システムの第2実施形態を示すブロック図である。

【図9】本発明による光通信システムの第3実施形態を示すブロック図である。

【図10】各区分28の第2実施形態を示すブロック図である。

【図11】各区分28の第3実施形態を示すブロック図である。

【図12】信号電力のレベルダイヤグラムを示す図である。

【図13】入力光スペクトルの2つの例を示す図である。

【図14】EDFA(エルビウムドープファイバ増幅器)を用いた場合における光スペクトルの例を示す図である。

【符号の説明】

22 第1の端局

24 第2の端局

26 光ファイバスパン

28 区分

30 (#1, ..., #n) サブ区分

32 光増幅器

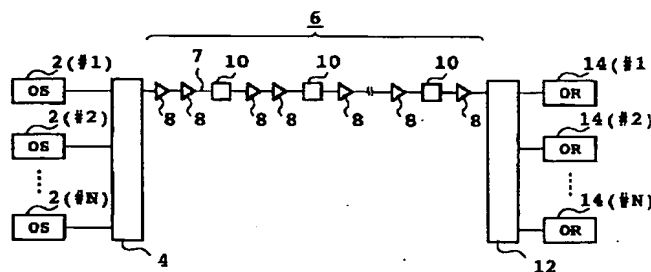
34 光ファイバ伝送路

36 第1の光フィルタ

38 第2の光フィルタ

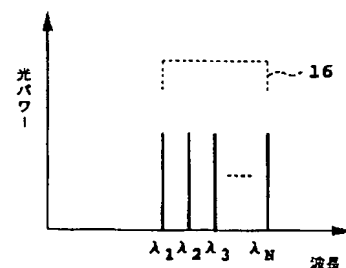
【図1】

WDMが適用される光通信システムの例を示すブロック図  
(従来技術)



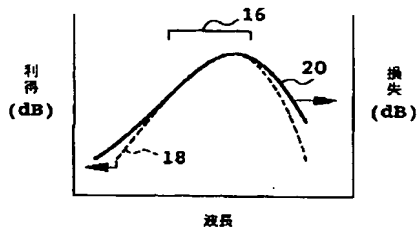
【図2】

図1のシステムにおけるWDM信号光の  
スペクトルの例を示す図  
(従来技術)



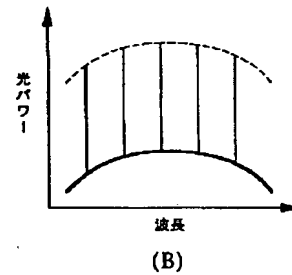
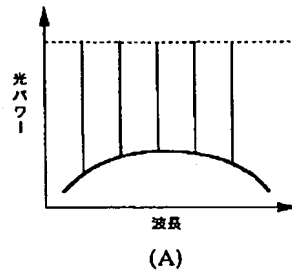
【図 3】

利得等化法の説明図  
(従来技術)



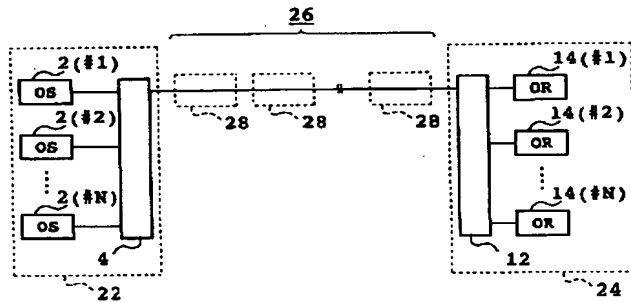
【図 4】

利得等化により信号電力の偏差(A)及び光SNRの偏差(B)が  
抑圧される様子を示す図



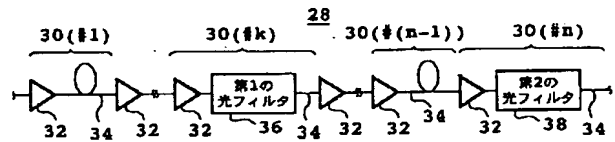
【図 5】

本発明による光通信システムの第1実施形態を示す  
ブロック図



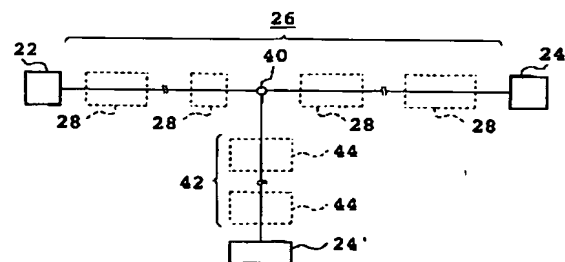
【図 6】

各区間28の第1実施形態を示すブロック図



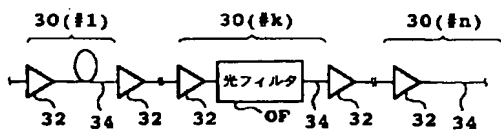
【図 8】

本発明による光通信システムの第2実施形態を示す  
ブロック図



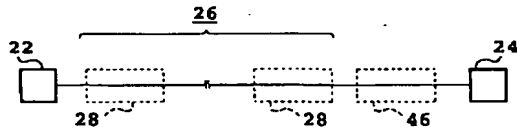
【図 7】

図6の第1実施形態の効果を説明するための  
比較例を示すブロック図



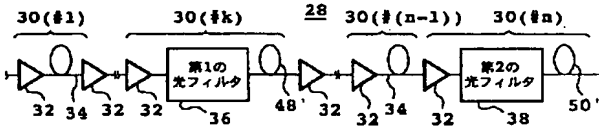
【図9】

本発明による光通信システムの第3実施形態を示す  
ブロック図



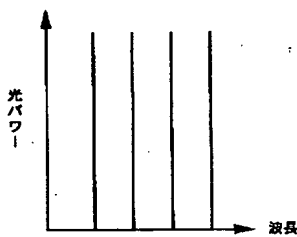
【図11】

各区間28の第3実施形態を示すブロック図

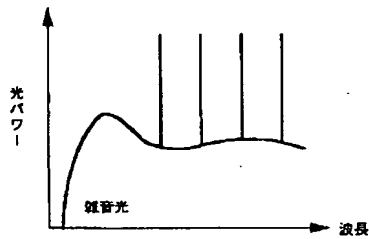


【図13】

入力光スペクトルの2つの例を示す図



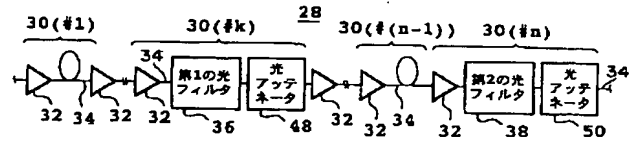
(A)



(B)

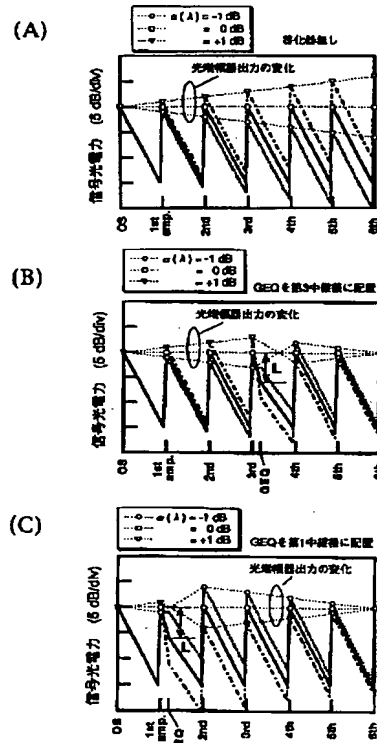
【図10】

各区間28の第2実施形態を示すブロック図



【図12】

信号電力のレベルダイヤグラムを示す図



【図 1 4】

EDFAを用いた場合における光スペクトルの例を示す図

